



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**DIGITÁLNÍ ZPROVOZNĚNÍ ROBOTIZOVANÉHO
SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ**

DIGITAL COMMISSIONING OF A ROBOTIC WELDING WORKPLACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Sarvaš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Matej Sarvaš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Digitální zprovoznění robotizovaného svařovacího pracoviště

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současná doba klade stále větší důraz na rychlé zprovoznění nových výrobních systémů a jejich flexibilitu. Jednou z cest jak tohoto cíle dosáhnout je využití tzv. virtuálního zprovoznění nově navrhovaného nebo již provozovaného výrobního systému. Cílem práce bude virtuální zprovoznění robotizovaného pracoviště pro obloukové svařování metodou MIG. Práce je založena na syntéze znalostí z mechaniky, elektřiny, automatizace, robotiky a programování.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.
Sestavení robotizované svařovací buňky pro metodu MIG.
Návrh upínacího přípravku.
Návrh drah pro vybrané svařence.

Seznam doporučené literatury:

SICILIANO, Bruno a Oussama. KHATIB. Springer handbook of robotics. Berlin: Springer, 2008. ISBN 978-3-540-23957-4.

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie: 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.

NOF, Shimon Y. Springer handbook of automation. 1. New York: Springer, 2009. ISBN 978-354-07-8-300.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto práce bolo spracovať problematiku digitálneho sprevádzkovania robotizovaného zvaracieho pracoviska. Na začiatku je popísaná problematika súčasného poznania v oblasti digitalizácie, programovania priemyselných robotov a zvarania. V praktickej časti je navrhnutý 3D model samotnej zvaracej bunky v simulačnom software, následne sú navrhnuté rôzne varianty upínacích prípravkov a v poslednej časti samotné dráhy zvarania pre vybraný zvarenec.

ABSTRACT

The aim of this work was to process the issue of digital commissioning of a robotic welding workplace. At the beginning, the current knowledge in the field of digitization, programming of industrial robots and welding has been described. In the practical part, a 3D model of the welding cell itself has been designed in the simulation software, then various variants of clamping jigs have been considered, and in the last part, the welding paths for the selected weldment has been designed.

KLÚČOVÉ SLOVA

Digitálne sprevádzkovanie, robotická bunka, robotické zvaranie, upínací prípravok, dráhy zvarania, ABB RobotStudio ArcWelding PowerPack

KEYWORDS

Digital commissioning, robotic cell, robotic welding, clamping jig, welding paths, ABB RobotStudio ArcWelding PowerPack

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

SARVAŠ, Matej. *Digitální zprovoznění robotizovaného svařovacího pracoviště*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131859>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

POĎAKOVANIE

V prvom rade sa chcem poďakovať vedúcemu mojej práce Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D., za odborné rady a trpezlivosť pri vedení tejto práce. Nemenej sa chcem poďakovať mojej rodine, ktorá pri mne stála aj v najťažších dobách môjho štúdia a vždy mi verila.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Čestne prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, ktoré som spracoval samostatne pod vedením Ing. Jana Vetišku, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 16.05.2021

.....

Sarvaš Matej

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA.....	17
3	PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA.....	19
3.1	Digitálne sprevádzkovanie.....	19
3.2	Programovanie priemyselných robotov	20
3.2.1	Online programovanie	20
3.2.2	Offline programovanie	21
3.3	Zváranie	23
3.3.1	Tlakové zváranie.....	23
3.3.2	Tavné zváranie.....	24
4	PRAKTICKÁ ČASŤ	26
4.1	Konfigurácia robotickej zváracjej bunky	26
4.1.1	Robot IRB 1660ID.....	27
4.1.2	Zváracia hlavica (nástroj)	28
4.1.3	Zvárací agregát	28
4.1.4	Polohovadlo IRBP D	29
4.2	Návrh upínacieho prípravku	30
4.2.1	Variant 1: Na manuálne založenie bez kontroly polohy.....	33
4.2.2	Variant 2: Na manuálne založenie s kontrolou polohy.....	33
4.2.3	Variant 3: Uloženie s možnosťou využitia robota	34
4.2.4	Výber variantu	35
4.3	Návrh zváracích dráh	36
4.3.1	ArcWelding PowerPack (AW)	36
4.3.2	Príklad dráhy robota	39
5	ZÁVER.....	40
6	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	41
7	ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV A OBRÁZKOV	43
7.1	Zoznam skratiek.....	43
7.2	Zoznam obrázkov	43
8	ZOZNAM PRÍLOH	44

1 ÚVOD

Súčasná doba kladie stále väčšie nároky na rýchlosť výroby a zároveň čím ďalej tým väčšie nároky na zlepšovanie presnosti a kvality ako celku. Väčšina výrobných systémov a obzvlášť zváranie sa vykonáva konvenčnými metódami, kde sa zostrojí celý výrobný systém v realite a následne sa začne vyrábať. Tento spôsob značne predlžuje čas nevyhnutný na spustenie prevádzky. Ako možné riešenie ušetrenia času a odstránenia všetkých možných chýb sa ponúka digitálne sprevádzkovanie.

Digitálne sprevádzkovanie je realizovateľné pri rôznych výrobných systémoch aj keď najlepšie je to, vďaka rôznorodým simulačným softwarom, možné s priemyslovými robotmi určenými, či už na rôzne nakladanie a vykladanie súčiastok, čistenie alebo samotnú výrobu jednotlivých súčiastok. Cieľom tejto bakalárskej práce je práve digitálne sprevádzkovanie robotizovaného zvaracieho pracoviska. Na začiatku je popísaný stav súčasného poznania, kde sa opisuje využitie a výhody digitálneho sprevádzkovania. Následne sú uvedené možnosti ako programovať priemyselné roboty, s uvedením príkladov. V druhej časti teoretických základov sa rozoberajú jednotlivé druhy zvárania a ich prípadné využitie v automatizovanom robotickom zváraní. V praktickej časti je navrhnutý model robotizovaného pracoviska, samotný zvarenec a upínací prípravok v troch variantoch. Následne sú v poslednej časti vytvorené dráhy zvárania. Celé pracovisko je ďalej simulované v digitálnej podobe, ktorá umožňuje overiť realnosť tejto robotizovanej zvaracej bunky.

2 MOTIVÁCIA

Hlavným dôvodom výberu tejto témy a jej spracovania je môj osobný záujem o problematiku priemyselnej robotiky, automatizáciu a o digitalizáciu reálnych systémov z externých zariadení. Potreba robiť veci najskôr samostatne iba s pomocou softwaru s príchodom COVID-19 ešte viac stúpila. Ďalším nemalým motivujúcim faktorom je veľké zastúpenie automobilového priemyslu, či už v Českej republike alebo aj v Slovensku, kde je práve robotizované zváranie veľmi využívané. Do tretice, rozhodujúcou motiváciou je v budúcnosti plánovaný prechod na často spomínaný Priemysel 4.0, ktorý dokáže spájať pomocou Internetu vecí všetko dokopy. Avšak na toto je potrebné dosiahnuť čo najväčšiu automatizáciu, čiže naplniť podmienky pre Priemysel 3.0.

Obrovským prínosom je aj možnosť naučiť sa pracovať v novom programe RobotStudio, s ktorým som mal doteraz len minimálne skúsenosti.

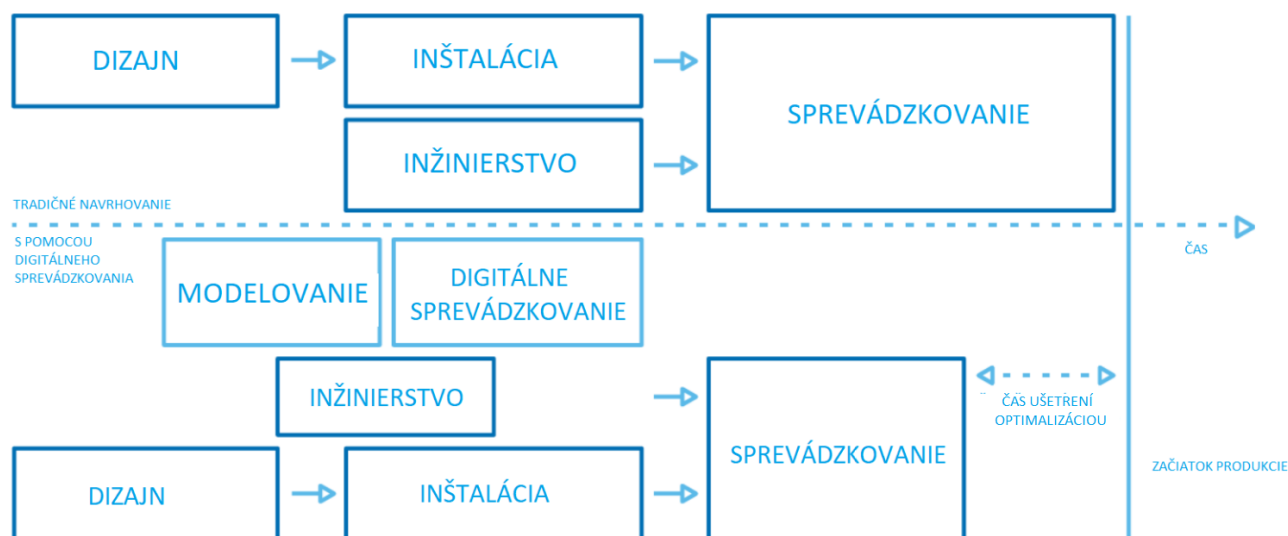
3 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNANIA

3.1 Digitálne sprevádzkovanie

Výrobcovia a integrátori výrobných systémov čelia v súčasnosti stále väčšej požiadavke na zvyšovanie kvality a presnosti výroby a zároveň na skrátenie času potrebného na vývoj nových alebo prepracovanie už existujúcich postupov výroby. S cieľom zvýšiť konkurencieschopnosť, sa operatívny čas automatizovaného výrobného systému musí skracovať a to napríklad pomocou kontrolného systému nazývaného digitálne, alebo aj virtuálne sprevádzkovanie[1].

Digitálne sprevádzkovanie umožňuje vytvoriť reálny výrobný systém vo virtuálnom prostredí. Hlavným zámerom je otestovať výrobné systémy a prepojiť kontrolné programy cez simulácie predtým, ako sa zapoja do reálnych výrobných procesov [2].

Väčšina výrobných systémov pozostáva z viacerých rozličných elementov, ako napríklad skladov, dopravníkov a iných posúvacích zariadení, obsluhovacích, obrábacích a ďalších systémov v rôznych kombináciách. Zostavenie takéhoto výrobného systému kombinuje veľa inžinierskych smerov: strojný, elektro a automatizačný inžinierstvo. Takéto spojenie a následná kontrola vyžaduje veľa peňazí a času. Podľa štúdie Nemeckej asociácie strojného inžinierstva sa na kontrolu spotrebuje 25 % z celkového času návrhu výrobného systému. Ako možné riešenie skrátenia času sa uvádza práve využitie digitálne sprevádzkovania (Obr. 3.1) [1].



Obr. 3.1 Virtuálne sprevádzkovanie [3]

K ďalším nemenej dôležitým výhodám použitia digitálneho sprevádzkovania patria aj:

- testovanie bezpečnostných prvkov a rôznych metód konštrukčných riešení,
- skoré odhalenie chybných scenárov,
- overenie správnosti návrhov senzora a jeho prepojenie s PLC,
- skrátenie etapy oživovania a ladenia na reálne zariadenie [4].

3.2 Programovanie priemyselných robotov

Dôležitou súčasťou výrobných systémov sú aj robotizované pracoviská. Hlavnými úlohami robotov vo výrobnom procese je najmä zvarovanie, lepenie, poprípadne prekladanie obrábaných súčastí. Robot však musí byť najskôr naprogramovaný na plnohodnotné zvládnutie jeho úlohy. Dva hlavné spôsoby programovania priemyselných robotov sú online a offline programovanie.

3.2.1 Online programovanie

Online programovanie spočíva v priamom kontakte medzi programátorom a priemyselným robotom. Výhodou online programovania je intuitívnosť, čiže tento spôsob je veľmi obľúbený medzi „ne-programátormi“. Vo väčšine prípadov sa stretneme s dvoma druhmi [5]:

1. Programovanie pomocou Teach Pendantu

Teach pendant je zariadenie (ovládač), ktoré sa zapája priamo do robota (Obr. 3.2). Pomocou jeho rozhrania sa presunie robot do požadovaných pozícií a zaznamená sa každý pohyb. Programy s textovým vstupom vám umožňujú používať okrem tlačidiel a 6d myši aj programovací jazyk výrobcu.

2. Programovanie Hand-guiding

Druhým spôsobom je programovanie Hand guiding, čiže pomocou ručného navádzania. Pri tomto spôsobe sa rameno robota fyzicky navádza do požadovaných miest a program v robotovi si sám zaznamená dôležité body alebo presnú cestu. Veľkou výhodou je intuitívnosť, avšak na druhú stranu táto metóda neumožňuje presné nastavenie a často vyžaduje ďalšie simulácie.

Nevýhodou online programovania je, že pri tejto metóde je potrebné mať fyzický kontakt s robotom, čo nie je vždy možné. Z tejto podstaty vyplýva aj hlavný nedostatok online programovania a to, že nie je možné nastaviť robota na nový program počas vykonávania jeho momentálnej úlohy. Tento problém rieši offline programovanie



Obr. 3.2 Teach pendant [6]

3.2.2 Offline programovanie

Pod pojmom offline programovanie sa označuje prax programovania stroja (zvyčajne robota alebo CNC stroja) bez fyzickej prítomnosti stroja. Inými slovami, program sa najskôr vytvorí na počítači a potom sa neskôr stiahne na reálny prístroj.

Táto metóda spočíva v práci s softwarovými systémami, ktoré umožňujú vytvoriť 3D návrh robotizovaného pracoviska vo virtuálnom prostredí založeného na kinematickom, poprípade dynamickom modeli robota. Pomocou tejto metódy sa dokážu definovať presné dráhy, body a iné aktivity chodu robota. Získaná simulácia dovoľuje upravovať alebo vylepšovať funkciu výrobného bunky. Vďaka získanej simulácii je možné sledovať pracovný čas robota, vykresľovať pracovné dráhy, testovať dosah ramien a podobne. Niektoré programy umožňujú automatické generovanie dráh v závislosti od konkrétneho CAD objektu, s ktorým robot manipuluje. Po vypracovaní konečného virtuálneho procesu výroby ho sám software prevedie do kódu, ktorý je možno ďalej upraviť a následne implementovať do reálneho robota[7].

Využitím vyššie uvedených vlastností offline programovania sa dá na teoretickej úrovni dosiahnuť zvýšenie kvality a presnosti, zníženie výrobných nákladov a výrazná úspora času pri implementovaní nových výrobných postupov. V praxi je avšak nutné prevedené kódy aspoň čiastočne upravovať. Toto je dané možnými nepresnosťami uloženia komponentov a ich montážnymi nepresnosťami, s ktorými sa v simulácii nepočíta. Vo všeobecnosti platí závislosť čím viac sú reálny a teoretický model výrobného systému rovnaké, tým menej sa musí kód upravovať. Pre offline programovanie sa najviac využívajú nasledovné softwary:

Simulačné softwary

Simulačné softwary sa delia na niekoľko kategórií. Prvou kategóriou sú softwary vyvíjané priamo výrobcami priemyselných robotov. Offline programovanie u týchto softwarov prebieha podobne ako u online programovania a to pomocou virtuálneho kontroleru. Do tejto kategórie spadajú softwary ABB Robot Studio, KUKA Sim a iné. Ďalšou kategóriou sú digitálne továrne. Pomocou týchto softwarov je možné zaistiť celkový chod životného cyklu, čiže je možné navrhnuť nielen jednotlivé robotizované bunky ale aj ich umiestnenie vo výrobných halách, naplánovať logistiku, tok materiálu a podobne. Na toto sa používajú softwary ako napríklad TECNOMATIX Siemens, DELMIA Robotics a iné [7],[8].

ABB RobotStudio

ABB RobotStudio je software určený na offline programovanie, simulovanie všetkých častí výrobného systému od firmy ABB. Prvá verzia bola vydaná v roku 1998. Hlavnou výhodou RobotStudia je, že na rovnakom kóde funguje virtuálny robot v počítači a aj v realite. Ďalšou výhodou je, že RobotStudio dovoľuje implementáciu vlastných 3D modelov vo formáte CAD napríklad: IGES, STEP, VRML ACIS a CATIA.

Medzi hlavné prednosti RobotStudia patria:

- AutoReach – pomocou tejto funkcie software automaticky analyzuje dosiahnuteľnosť jednotlivých bodov a pomáha pohybovať s robotom v rámci najvýhodnejšieho pohybu medzi jednotlivými pozíciami,
- Path optimization a Collision Detection – RobotStudio dokáže automaticky detekovať a varovať pred pohybmi, ktoré sa odohrávajú v tesnej blízkosti a navrhne optimálnejšiu dráhu pohybu,
- Virtual FlexPendant – RobotStudio obsahuje aj virtuálny model reálneho Teach Pendants. Toto umožňuje presnú vizualizáciu a spätnú kontrolu práce, prípadné ľahké zaučenie obsluhy mimo fyzického kontaktu s robotom,

- Rapid Editor – RobotStudio používa programovací jazyk Rapid, ktorý je automaticky vygenerovaný softwarom a následne je možné ho pomocou tejto funkcie upravovať.

V najnovších verziách RobotStudia sa dá skontrolovať navrhnutá simulácia pomocou virtuálnej reality, čo pomáha ešte viac si predstaviť reálne kontúry jednotlivých súčastí navrhovaného systému.

Hlavnou nevýhodou RobotStudia je nemožnosť offline programovať robotov od iných výrobcov než ABB a taktiež pripojiť externé PLC programy [9].

KUKA Sim

KUKA Sim je simulačný program určený na offline programovanie robotov nemeckej firmy KUKA. Aktuálna verzia KUKA Sim Pro 3.1 umožňuje napríklad integrovať CAD importy (CATIA, STEP atď.), využívať implementované knižnice, kontrolovať kolízie a vzdialenosti, optimalizovať a vypočítať doby jednotlivých cyklov. Zaujímavou funkciou je podpora aplikácie Mobile Viewer, vďaka ktorému je možné kontrolovať simulovaný výrobný systém za pomoci mobilu [10].

Digitálna továreň TECNOMATIX

Digitálna továreň TECNOMATIX je software spoločnosti Siemens, pomocou ktorého sa dokážu prepojiť jednotlivé časti výrobného systému od návrhu, plánovania, cez simulovanie až po samotnú výrobu a jej riadenie. Taktiež je možné pripojenie a využívanie ďalších produktov Siemens (Teamcenter, NX, Velocity series a iných). Je zložená z viacerých prepojených funkcií napríklad:

- Part and Assembly Planning & Validation – funkcia pre plánovanie a overovanie postupov, optimalizáciu správania nástrojov,
 - Robotics planning – využívaním 3D rozloženia robotov je schopný TECNOMATIX odhaliť chyby a upravovať pohyby robotov,
 - Plant design – navrhovanie celých tovární (výrobných liniek) a zlepšovanie logistiky.
- Každý z týchto nástrojov je možné používať aj samostatne [11].

3.3 Zváranie

Zváranie je jedným zo základných spôsobov spájania dielov, najmä kovových, ale aj nekovových (napr. plasty) v nerozoberateľný celok. Výsledný produkt sa nazýva zvarenec poprípade zvarok. Jednotlivé vstupné diely sú pred zváraním vyrábané najčastejšie delením alebo obrábaním (profily a plechy). Dôležitou súčasťou je správne zaistenie polohy dielov pred zváraním upínacími prípravkami. Funkčné plochy sa opracovávajú až po zvarení. Medzi hlavné výhody patria:

- možnosť náhrady výkovkov a odliatkov,
- znižovanie hmotností a výrobných nákladov,
- zvyšovanie produktivity uplatneným automatizácie zvárania.

Na druhú stranu má aj svoje nedostatky:

- spoj sa tvorí na úzkom páse – zahrievanie súčastí je nerovnomerné,
- dochádza k zmenám mechanických vlastností zvaru voči okolitému materiálu,
- pri rýchlom chladnutí dochádza k vzniku vnútorných napätí a deformácií [12].

Základným rozdelením je zváranie pomocou tlaku (tlakové) alebo pomocou privedeného tepla (tavné). Pri tlakovom zváraní sa vyžaduje pôsobenie vonkajšieho tlaku. Medzi hlavné postupy pri tlakovom zváraní patria trecie zváranie, difúzne zváranie a zváranie tlakom za studena.

3.3.1 Tlakové zváranie

Trecie zváranie

Základným princípom je trenie dvoch väčšinou rotačných súčastí. Pôsobením trecích síl sa mechanická energia mení na teplo. Na začiatku sa povrchy oboch súčastí kvôli vysokému tlaku zarovnávajú, potom deformujú a následne spájajú. Pomocou tejto metódy je možné zvärať aj materiály, ktoré by nebolo možné pomocou tavného zvárania napríklad kov so sklom [13],[14].

Difúzne zváranie

Pri tejto metóde je potrebné dodať teplo na úrovni 70 až 80 % tepla potrebného pri tavnom zváraní. Tlak musí doceliť priblíženie plôch na takú vzdialenosť aby mohla nastať difúzia po celej ploche avšak nesmie spôsobovať vznik makroskopických deformácií. Dôležitým parametrom je aj čas a prostredie v ktorom sa zvära. Keďže difúzia je pomalý proces tak aj difúzne zváranie trvá od 3 do 60 minút a prevádzkuje sa vo vákuu alebo v taveninách soli [13],[14].

Zváranie tlakom za studena

Zváranie tlakom za studena prebieha pri vysokých tlakoch rádovo v 10^3 MPa. A teplotách okolo 20°C. Pri takomto veľkom tlaku sa zvarované plochy začínajú približovať na vzdialenosť atómov v mriežkach, čoho dôsledkom sú ich interakcie a vznik pevných väzieb.

Podmienkou je dosiahnutie minimálne 60% plastickej deformácie. Hlavnou výhodou tejto metódy je, že nenastávajú zmeny materiálu, spôsobené teplotou [13],[14].

3.3.2 Tavné zváranie

Pri tavnom zváraní zohráva primárnu úlohu dodané teplo, ktoré roztaví materiál a tým pádom spája jednotlivé komponenty. Delí sa na dve základné metódy podľa spôsobu dodávania tepla.

Plameňové zváranie

Pri plameňovom zváraní je teplo vytvárané horením zvyčajne dvoch druhov plynov, a to tzv. okysličujúceho a horľavého. Podľa zloženia sa líšia teploty plameňa a hustota energie. Najviac používaným horľavým plynom je acetylén, kvôli jeho vysokej výhrevnosti. Podľa pomeru acetylénu a kyslíka v plameni ho delíme

- redukčný (menej O_2 než C_2O_2) - používaný pri zváraní hliníka,
- neutrálny (približne rovnaké množstvo oboch plynov) - zváranie ocele,
- oxidačný (viacej O_2) - zváranie mosadzi a bronzov.

Plameňové zváranie patrí medzi klasické metódy s dlhodobou tradíciou. Je stále využívané, hlavne v remeselníckej výrobe a rôznych opravách [13].

Oblúkové zváranie

Pri tejto metóde je teplo využívané na natavenie materiálu generované pomocou horiaceho elektrického oblúka. Elektrický oblúk je zmes elektrónov a iónov charakteristický vysokou hustotou elektrického prúdu a veľmi jasným svetelným žiarením, horiaci v prostredí ionizačných plynov. Pre stabilný elektrický oblúk sa vyžaduje zváracie napätie na udržanie stavu ionizácie. Toto napätie sa určuje pomocou statickej voltampérovej charakteristiky, ktorá vyjadruje pomer medzi pracovným napätím a zvarovacím prúdom. Keďže na tvar elektrického oblúka pôsobí napríklad jeho chemické zloženie a geometria, používa sa na výpočet tzv. štandardná statická charakteristika oblúka, ktorá určuje veľkosť napätia oblúka [13]:

$$U_n = 20 + 0,04 * I_p$$

kde: I_p ...zvárací prúd

Oblúkové zváranie sa delí na hlavné štyri skupiny:

- ručné oblúkové zváranie,
- zváranie pod tavivom,
- zváranie s netaviacou sa elektródou,
- zváranie s taviacou sa elektródou.

Ručné oblúkové zváranie

Zvar základného a prídavného materiálu sa pri ručnom oblúkovom zváraní dosahuje rovnako ako u všetkých ostatných metód oblúkového zvárania a to horením elektrického oblúka. Pre prídavný materiál sa používajú elektródy s jadrom z drôtu s normalizovanými priemermi a obalmi. Najpoužívanejšie obaly sú bázické a rutilové. Pri ručnom zváraní sa nenastavuje zváracie napätie, ktoré je automaticky dané statickou charakteristikou oblúka. Naopak, prúd sa používa jednosmerný, pulzujúci aj striedavý. Prúd sa nastavuje podľa druhu obalu a priemeru jadra elektródy [13].

Zváranie pod tavivom (APT)

Podstatou tejto metódy je horenie elektrického oblúka v zvaracom kúpeli. Tento kúpeľ sa skladá z taviva dopraveného v granulovanej forme a je chránený pred oxidáciou plynmi, ktoré sa uvoľňujú počas horenia. Taviva sa rozdeľujú podľa chemického zloženia na kyslé, neutrálne,

alebo bázické. Prídavným materiálom je drôt navinutý na cievke. APT sa využíva hlavne na zváranie dlhých oceľových materiálov s neprerušovanými zvarmi (mosty, kotle atď.).

Hlavnou výhodou využitia metódy APT je úplná automatizácia zvaracieho procesu, čo umožňuje 5 až 10 násobne väčšiu produktivitu než u ručného zvárania, úsporu energie, väčšiu bezpečnosť a dokonalejšie spoje. Dôležitou súčasťou zariadenia sú okrem samotného zvaracieho zdroja a výsypky taviva aj rôzne posunovače poprípade ťahače, ktoré zabezpečujú pohyb po predom definovanej dráhe [12].

Zváranie s netaviacou sa elektródou (TIG/WIG)

Základným rozdielom oproti predchádzajúcim spôsobom zvárania je, že oblúk horí medzi netaviacou sa volfrámovou elektródou a základným materiálom. Ďalším rozdielom je zváranie v ochrannom plyne, ktorý je na rozdiel od APT privádzaný aktívne a teda nevzniká ako druhotný produkt zvárania. Medzi najpoužívannejšie ochranné plyny patrí Argón, Hélium alebo ich zmesi. Táto metóda bola pôvodne navrhnutá na zváranie hliníka a iných vysoko reaktívnych kovov. V dnešnej dobe sa však používa na zváranie všetkých druhov kovov. Ako prídavný materiál je používaný drôt, ktorý sa musí pridávať externe, buď ručne alebo pomocou cievok. Najčastejším spôsobom je ručné zváranie, čo so sebou prináša značné nedostatky. Pre správny zvar je potrebné mať zručného zvarača, čiže táto metóda nemá vysokú efektivitu. Na druhej strane je zvar veľmi kvalitný a využívaný pri zváraní najkomplikovanejších súčastí napr. v jadrovej technike, letectve a k pretavovaní zvarov vytvorených inými spôsobmi zvárania [13],[14].

Zváranie s taviacou sa elektródou (MIG/MAG)

Pri zváraní s taviacou sa elektródou sa zvar vytvára pomocou horenia elektrického oblúka medzi elektródou a základným materiálom (Obr. 3.3). V tomto prípade je však elektróda tavná a skladá sa priamo z drôtu, ktorý je automaticky odvíjaný z cievky pri stlačení horáku. Proces zvárania sa odohráva v plynnej atmosfére, buď s pomocou inertného plynu (Ar, He) – metóda MIG alebo aktívneho plynu (CO_2 + rôzne prímеси) – metóda MAG. MIG zváranie je určené predovšetkým na zváranie hliníka a jeho zliatin, vyznačuje sa veľkou produktivitou práce avšak horšou kvalitou. MAG sa používa pri zváraní ocelí, pre vysokú cenu Argónu je však využívaný len tam kde sa nedá používať APT. Veľkou výhodou obidvoch metód je možnosť úplnej automatizácie pomocou priemyselných robotov. Týmto spôsobom sa dajú zhotoviť rôzne zložité tvary bez ľudského zásahu: rámy, karosérie a iné produkty vo veľkých sériách [12].



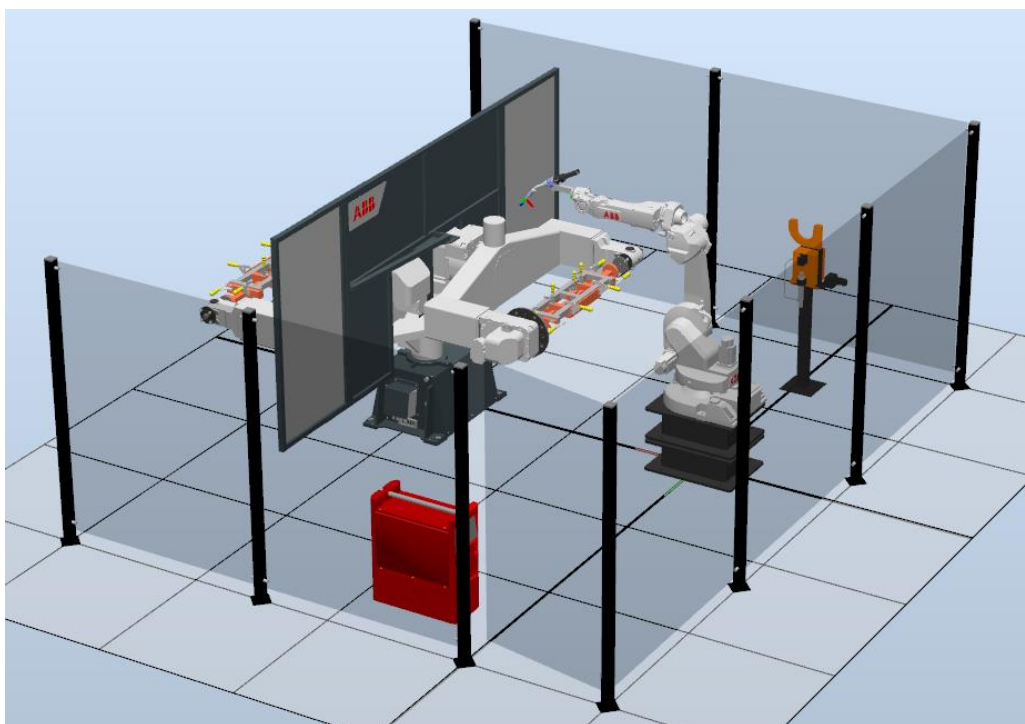
Obr. 3.3 Zváranie metódou MIG [15]

4 PRAKTICKÁ ČASŤ

4.1 Konfigurácia robotickej zvaracej bunky

Pri návrhu pracoviska je potrebné brať do úvahy nielen všetky vstupné predpoklady ako napríklad: geometriu, materiál zvarencov, metódu zvarania, jednotlivé miesta pre zdroj elektrickej energie, ochranných plynov a podobne, ale aj celkové rozmery a hlavne bezpečnosť celého pracoviska.

Na obrázku 4.1 je znázornený návrh rozloženia pracoviska používaný v tejto bakalárskej práci. Je to model vytvorený v programe ABB RobotStudio, vďaka ktorému je možné offline naprogramovať celkový chod zvaracej bunky. Robot je uložený tak, aby mal v dosahu polohovadlo, na ktorom sa nachádza zvarenec. Polohovadlo slúži na vymieňanie zvarencov a chráni pred žiarením pracovníka, ktorý upína nasledujúci zvarenec do zadnej strany polohovadla. Dôležitou súčasťou celej bunky sú aj prvky zvyšujúce bezpečnosť pri práci. V tejto bunke je použitý ochranný plot, ktorý spĺňa viacero funkcií. Zabraňuje vstupu ľudskej obsluhy do dosahu robota a zároveň ochraňuje ich zdravie pred nebezpečným žiarením. Vo vnútri pracoviska sa nachádza aj zváračka a torch cleaner (čistič hrotu horáka).



Obr. 4.1 Rozloženie pracoviska

Jednotlivé komponenty zvaracej bunky

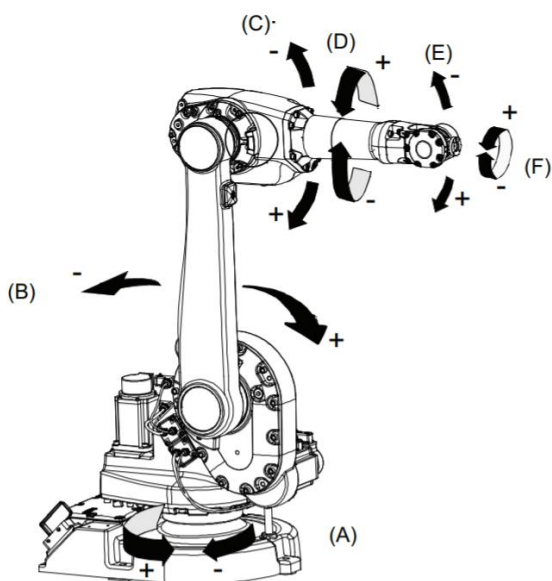
4.1.1 Robot IRB 1660ID

Roboty sú automatizované, programovateľné univerzálne použiteľné stroje vhodné aj na efektívne a presné zvaranie. V súčasnej dobe je obvyklá presnosť na úrovni stotín milimetru pri opakovateľnosti dráhy. Pre takéto presné zvaranie je nutné nastaviť polohu podľa najrôznejších technologických požiadaviek a dosiahnuteľnosť ľubovoľných bodov v dosahu robota. Táto vlastnosť je umožnená konštrukciou robota, ktorá má väčšinou 6 stupňov voľnosti, tri na dosiahnutie bodu v priestore a tri na natočenie nástroja (Obr. 4.2). Stavba priemyselného robota vychádza z napodobnenia ľudskej ruky - ramenná časť (osi A a B), lakt'ová časť (C a D) a zápästie (E a F).

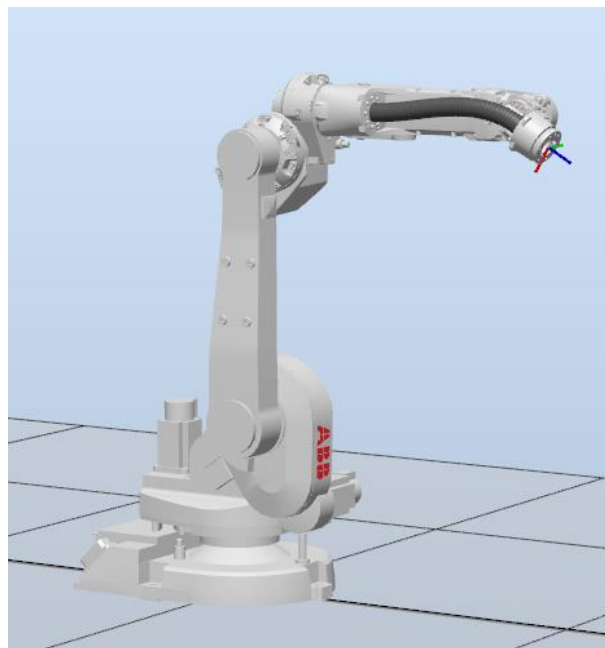
Robot určený na zvaranie sa skladá z týchto častí:

- zvaracia hlava (nástroj),
- ramená umožňujúce pohyb vo všetkých smeroch,
- zvarací agregát (zdroj zvaracie napätia),
- riadiaca jednotka.

Robot IRB 1660ID vychádza zo série robotov IRB 1600ID (Obr. 4.3). Táto séria sa vyrába v 7 variantoch, z ktorých dva sú určené práve na oblúkové zvaranie. Ide práve o modely 1660ID v rozdielnom užitočnom zaťažení (IRB 1660ID-4/155 so zaťažením max. 4 kg a IRB 1660ID-6/155 so 6 kg dovoľeným zaťažením, obe s dosahom 1,55 m). Veľkou výhodou je aj tichý chod robota do 70 dB a príkon 0,62 kW v kocke ISO pri maximálnej rýchlosti, zrýchlení a zaťažení [16].



Obr. 4.2 Stupne voľnosti [16]



Obr. 4.3 IRB1660ID v programe ABB RobotStudio

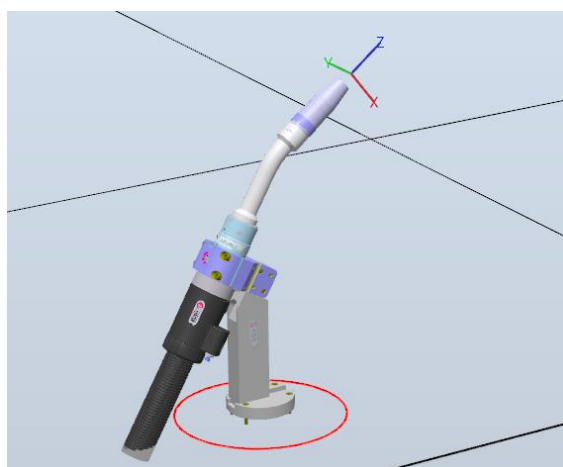
4.1.2 Zváracia hlavica (nástroj)

Zváracia hlavica je pracovným nástrojom robota. Musí umožňovať čo najjednoduchší prístup k zvarom a je navrhovaná podľa technológie zvárania (MIG, TIG atď.). Existujú vzduchom a vodou chladené hlavice.

Najdôležitejšie parametre sú:

- kompatibilita hlavice s miestom upnutia na robotovi a kabelážou,
- možnosť zapojenia kontrolných snímačov,
- ľahká údržba.

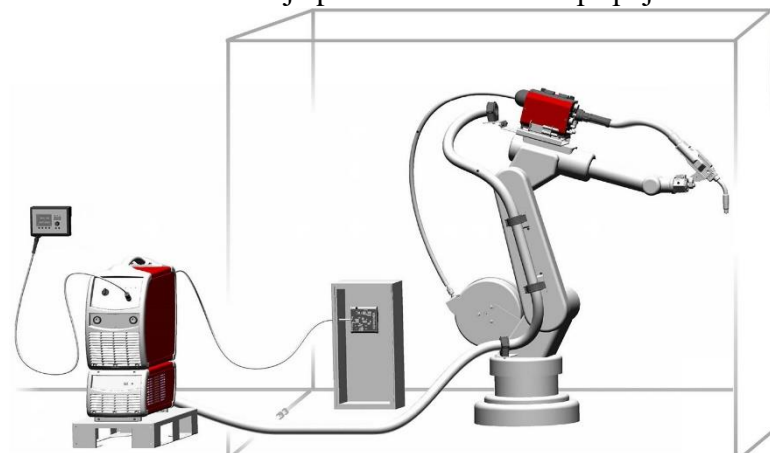
V tejto práci je využitý model priamo z knižnice vybavenia (Obr. 4.4), ktorý ponúka RobotStudio a je to reálny vzduchom chladený model hlavice od firmy Binzel.



Obr. 4.4 Model zvárackej hlavice v ABB RobotStudiu

4.1.3 Zvárací agregát

Na samotné zváranie je potrebné k robotovi pripojiť zväračku a podávač drôtu (Obr.4.5).



Obr. 4.5 MIG systém robotizovaného zvárania [17]

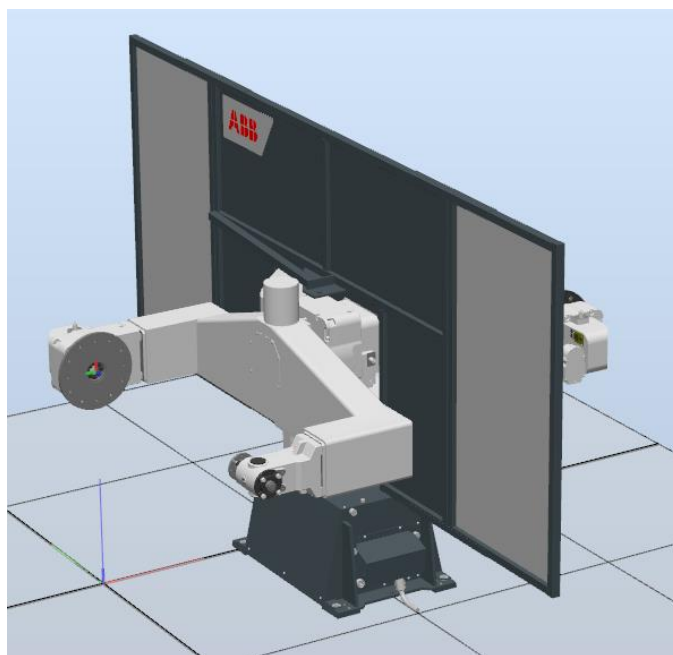
Celkové príslušenstvo k zváraníu sa skladá z:

- samotná zväračka zapojenej do siete a do riadiacej jednotky robota,
- podávača drôtu umiestneného na robotovi,
- kabeláže spájajúcej robota a zväračku.

4.1.4 Polohovadlo IRBP D

Polohovadlá sú dôležité časti robotizovaných pracovísk, či už určených na manipuláciu s výrobkami, zváranie alebo iné obrábanie materiálov. Hlavnou úlohou polohovadla je upnutie prípravku a jeho manipulácia v ďalších osiach (okrem osi otáčania robota). Táto vlastnosť umožňuje v tomto prípade zvariť všetky polotovary do výsledného produktu na jedno upnutie.

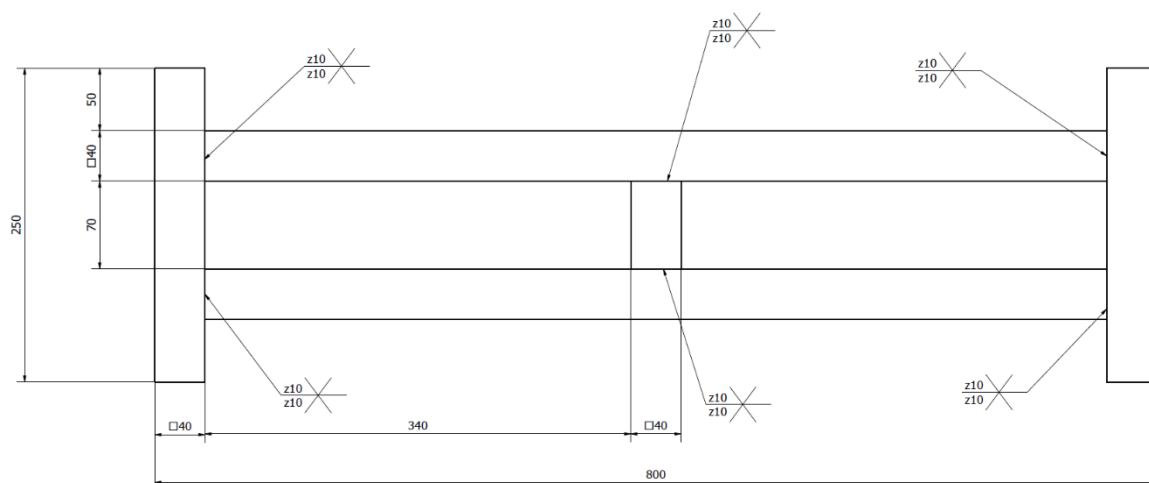
V tejto práci je použité polohovadlo IRBD typu D, podobne ako aj všetky robotické časti bunky je vyrábané firmou ABB (Obr.4.6). Existuje v dvoch variantoch a to IRBD D-300 a D-600, kde číslo určuje maximálnu manipulačnú nosnosť. Výhodou tohto polohovadla je možnosť pracovať na jeho oboch stranách, t.j. na jednej strane sa vykonáva samotné robotizované zváranie a zatiaľ na opačnej môže pracovník vybrať, poprípade pripravovať ďalšie zvarence. Ochrana pracovníka je zabezpečená stredovou ochrannou stenou [18].



Obr. 4.6 Model polohovadla IRBP D

4.2 Návrh upínacieho prípravku

Upínací prípravok musí zaistiť presné uloženie zvarenca, umožniť čo najjednoduchšiu manipuláciu a dôležitá je aj celková cena upínacieho zariadenia. Navrhované upínacie zariadenie bolo prispôbené na časť rámu stola (Obr. 4.7).

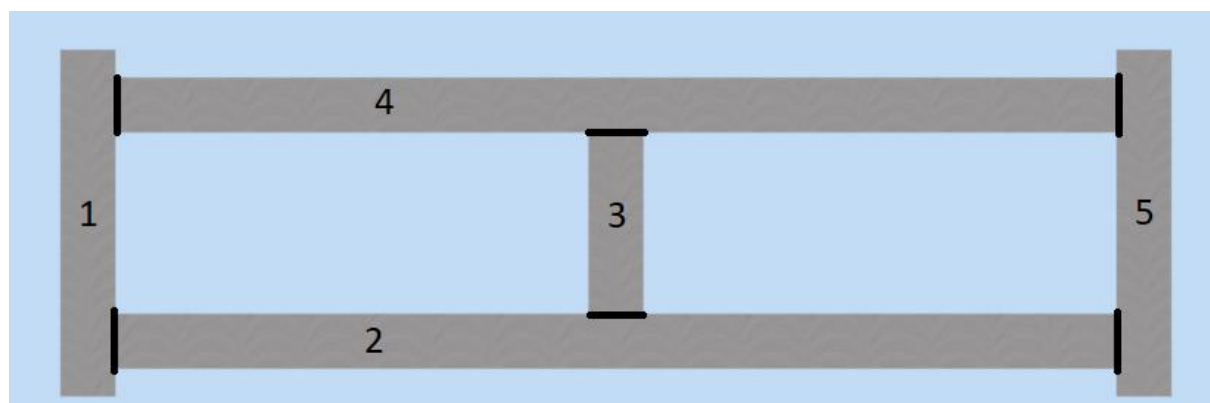


Obr. 4.7 Výkres zvarenca

Polotovarmi jednotlivých častí zvarenca sú štvorcové tyče z konštrukčnej oceli S235JR ťahané za tepla s dĺžkou hrany 40 mm. Dve tyče umiestnené horizontálne s dĺžkou 720 mm, dve vertikálne s dĺžkou 250 mm a tyč vymedzujúca vzdialenosť s dĺžkou 70 mm. Zvolená požiadavka je vytvoriť prípravok, ktorý umožní zváranie na jedno založenie a ktorý je možné použiť pri robotizovanom zváraní.

Možné varianty upínacieho prípravku

Pred navrhnutím bolo potrebné upresniť požiadavky, ktoré musia byť splnené. Podľa výkresu bolo nutné zvoliť dostatočne veľký priestor tam, kde sa budú jednotlivé tyče zvärať do konečného rámu. Tieto miesta musia mať dostatočnú plochu nielen na umožnenie samotného zvaru pomocou nástroja umiestneného na robotovi, ale aj na príchod a odchod tohto nástroja. Na obrázku 4.8 sú očíslované jednotlivé tyče a vyznačené miesta zvarov na prednej strane, takisto sú spoje zvárané aj zo zadnej strany na rovnakých miestach.



Obr. 4.8 Umiestnenie tyčí

Navrhnuté boli 3 varianty upínacieho prípravku. Čisto manuálny, kde všetky polotovary sú uložené do upínacieho prípravku ručne a bez dodatočnej kontroly umiestnenia, manuálny s kontrolou polohy zvarenca pomocou indukčných snímačov a automatizovaný, kde je uloženie jednotlivých tyčí možné aj pomocou robota a zaistenie polohy pomocou pneumatických úpiniek a kontrolované indukčnými senzormi. Všetky tri varianty majú základný upínací rám (Obr. 4.9) rovnaký, vyrobený na mieru na tento konkrétny zvarenec, len varianty 2 a 3 majú naviac vyvŕtané diery na indukčné snímače. Rám je navrhnutý presne pre polohovadlo IRBD type D od firmy ABB. Prírubby upínacieho rámu je možné prichytiť na prírubby polohovadla.



Obr. 4.9 Upínací rám

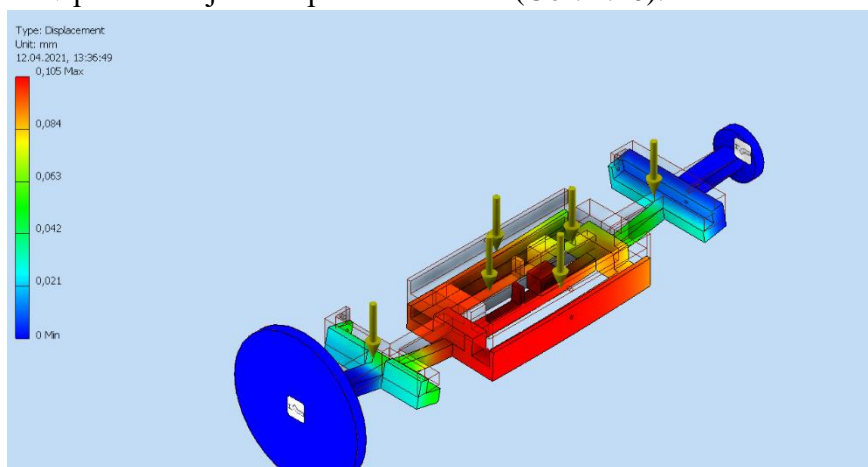
Celková váha upínacieho rámu pri použití materiálu z kategórie konštrukčných ocelí vypočítaná v software Autodesk Inventor 2021 je približne 55 kg. Spolu so samotným zvarencom, ktorý má vlastnú váhu približne 26 kg, je zaťažený silou F_g :

$$F_g = m * g = 81 * 9,81 = 794,61 \text{ N}$$

kde: $m = 81 \text{ kg}$, celková hmotnosť upínacieho rámu spolu so zvarencom

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$, gravitačné zrýchlenie pre Zem

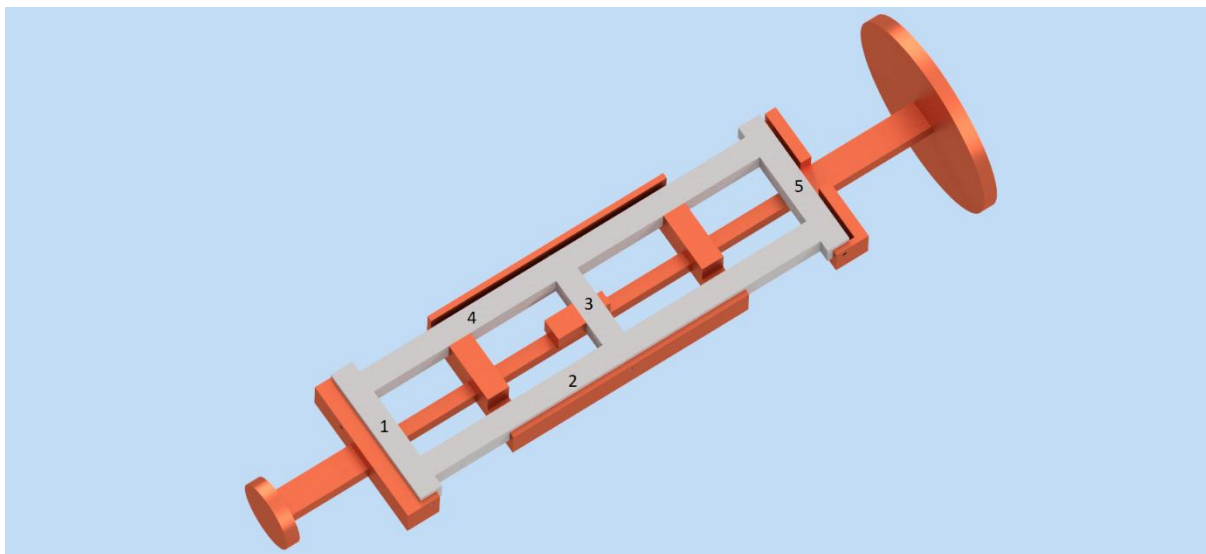
Na výpočet bezpečnosti a maximálneho priehybu bol opäť použitý Autodesk Inventor 2021, kde po prebehnutí pevnostnej analýzy vyšlo maximálne napätie 9,25 MPa a maximálny priehyb 0,11 mm v prostrednej časti upínacieho rámu (Obr. 4.10).



Obr. 4.10 Maximálny priehyb rámu

Postup vkladania jednotlivých dielov je univerzálny pre všetky varianty, odlišuje sa len v použití rozdielnych upínačov (manuálnych/pneumatických), ktoré sa zopnú na jednotlivé tyče po každom bode (Obr. 4.11):

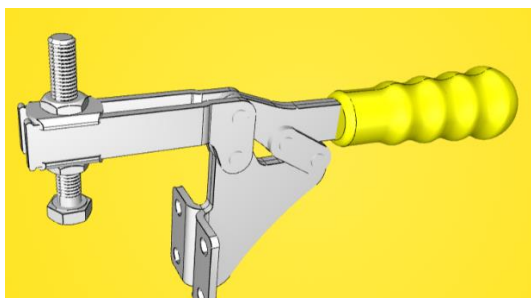
1. tyč 1 sa zarazí o bočnú a spodnú hranu rámu,
2. tyč 2 sa oprie o spodnú hranu a prisunie sa na tyč 1,
3. tyč 3 sa vloží do pre ňu určenej vodiacej drážky a prisunie sa k tyči 2,
4. tyč 4 sa oprie o tyč 3 a dva oporné dorazy a prisunie sa k tyči 1,
5. tyč 5 sa oprie o tyče 2 a 4 a dorazí sa na spodnú hranu,
6. celá zostava sa zovrie pomocou priameho upínača pri väčšej príruke.



Obr. 4.11 Umiestnený zvarenec v upínacom ráme

Upínače

Na zaistenie presnej polohy je okrem vytvarovaných dorazových prvkov na upínacom ráme potrebné zamedziť posuvom aj vo zvyšných smeroch. Na túto úlohu slúžia upínače. Sú to jednoduché mechanizmy, ktoré majú uplatnenie nielen pri zváraní ale aj pri iných strojárskych alebo drevárskych pracovných postupoch, kde je nevyhnuté presné umiestnenie obrobku. Veľmi používanými typmi sú rýchlopínače, ktoré sa delia na manuálne (Obr. 4.12) alebo pneumatické (Obr. 4.13). Pri manuálnych je upínacia sila vyvedená pracovníkom, ktorý zovrie kĺbový mechanizmus a ten vytvorí potrebnú silu. U pneumatických rýchlopínačov je táto sila vyvedená tlakom vzduchu v pneumatických valcoch.



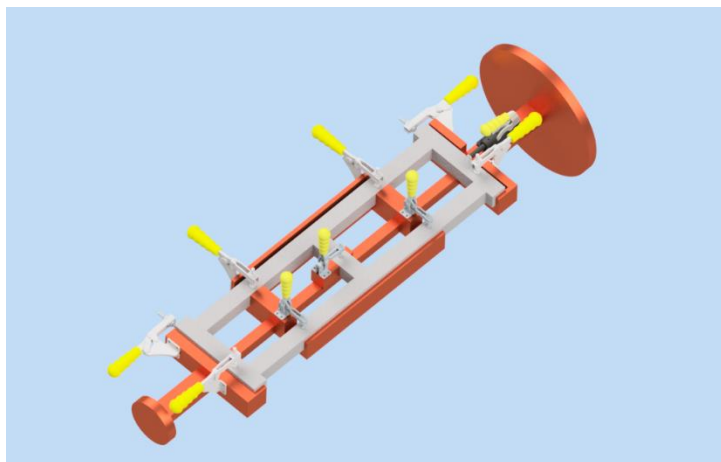
Obr. 4.12 Model manuálneho upínača



Obr. 4.13 Model pneumatického upínača

4.2.1 Variant 1: Na manuálne založenie bez kontroly polohy

Pri tomto spôsobe sa zvarenec ukladá do upínacieho rámu manuálne a počíta sa so skúseným pracovníkom, keďže poloha jednotlivých tyčí sa nekontroluje prístrojovo (Obr. 4.14). Ako upínače sú použité manuálne vodorovné, zvislé a priame rýchlopínače od firmy JCMetal.



Obr. 4.14 Variant na manuálne uloženie bez kontroly polohy

Pri zopnutí všetkých upínačov je zabránené pohybu vo všetkých smeroch. Výhodou tohto variantu je jeho nízka cena a ľahká manipulácia s upínačmi, kde je v prípade potreby relatívne jednoduché meniť polohu jednotlivých polotovarov. Nevýhodou je nemožnosť skontrolovať polohu jednotlivých tyčí inak ako vizuálne.

4.2.2 Variant 2: Na manuálne založenie s kontrolou polohy

Tento spôsob je takmer totožný s variantom 1, sú použité rovnaké manuálne rýchlopínače aj upínací rám, jediný rozdiel je v použití indukčných senzorov polohy od firmy TME v predom vyvŕtaných dierach (Obr. 4.17). V senzore sa nachádza cievka, ktorou preteká elektrický prúd, ktorý vytvára magnetické pole. Pri priblížení prekážky sa toto pole naruší a vzniknutý signál sa zaznamená. Indukčné senzory sú vyrábané buď so zapusteným alebo vystúpeným čelom senzoru (Obr. 4.15 a 4.16). Vo variante 2 je použitý zapustený druh čela, ktorý kontroluje len priblíženie v jednom smere, s rozsahom zaznamenania signálu 0 až 1,5 mm [19] [20].

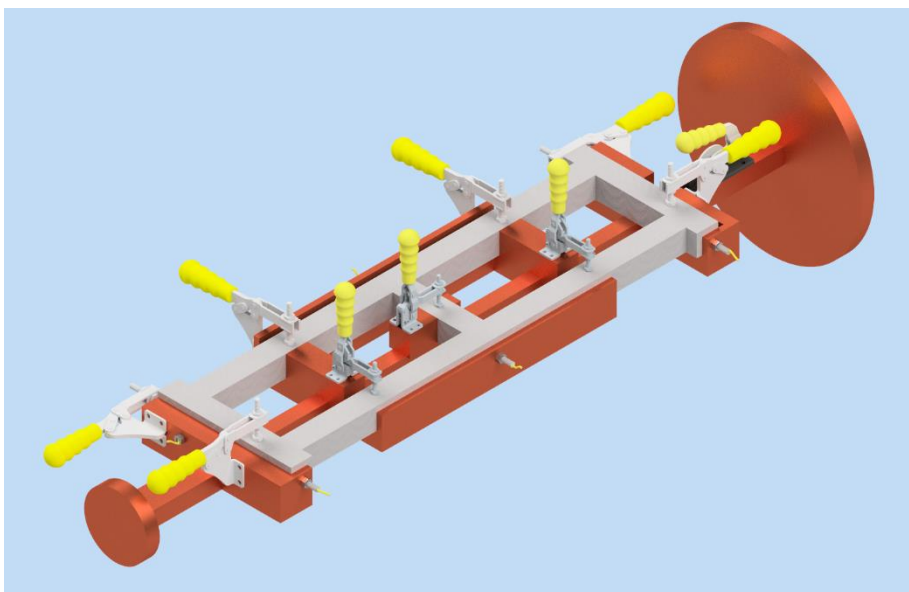


Obr. 4.15 Indukčný senzor polohy [20]



Obr. 4.16 Model indukčného snímača

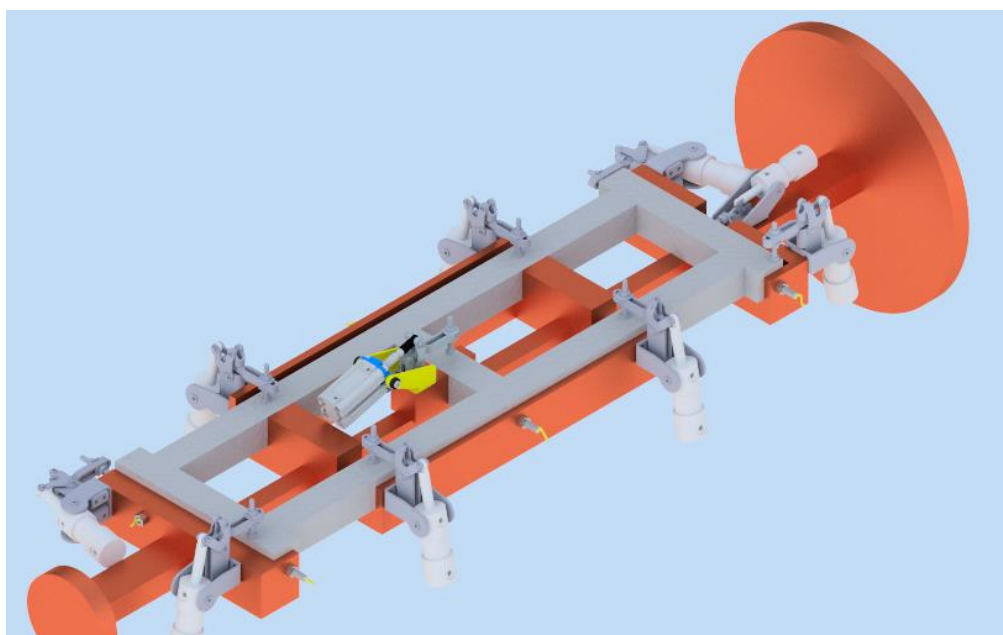
Celkovo bolo použitých 5 senzorov, ktoré zaisťujú presné uloženie jednotlivých tyčí do upínacieho rámu v rámci povolených odchýlok.



Obr. 4.17 Variant na manuálne upnutie s kontrolou polohy

4.2.3 Variant 3: Uloženie s možnosťou využitia robota

Variant 3 je navrhnutý opäť v rovnakom upínačom ráme ako varianty 1 a 2, avšak v tomto návrhu sa neuvažuje s manuálnymi rýchlopínačmi ale s pneumatickými (Obr. 4.18). Rozloženie upínačov je takmer totožné s predchádzajúcimi návrhmi, avšak je zvolený iný spôsob upnutia tyče 2. Z dôvodu väčších rozmerov pneumatických upínačov by nebolo možné ich umiestniť tak ako v predchádzajúcich variantoch. Použitie pneumatických upínačov dovoľuje použiť robot nielen na samotné zváranie, ale aj na uloženie jednotlivých tyčí do rámu a úplné zautomatizovanie celého výrobného procesu. Nevýhodou je vysoká cena, pre ktorú by sa toto riešenie oplatilo len vo veľkosériových výrobách.



Obr. 4.18 Variant na uloženie s možnosťou využitia ďalšieho robota

4.2.4 Výber variantu

Všetky tri varianty sú postavené na rovnakom ráme len s miernymi odlišnosťami v spôsobe upnutia, prípadne rozloženia upínačov. Zváracie dráhy sú teda pre všetky varianty rovnaké. Výber variantu vychádza z odhadu pravdepodobného výrobného procesu.

Variant 3 je určený hlavne do veľkých sériových procesov, kde je možné využiť viacero robotov a celý proces funguje automatizovane. Pri zvolenom zvarení sa takýto spôsob výroby nepredpokladá.

Variant 2 je určený pre menej skúsenú obsluhu pracoviska, ktorá nemá skúsenosti s presným ukladaním jednotlivých tyčí do upínacieho rámu alebo s náročným spôsobom uloženia. Vybraný zvarenec nevyžaduje komplikované uloženie do rámu, čiže sa neočakáva využitie ani variantu 2.

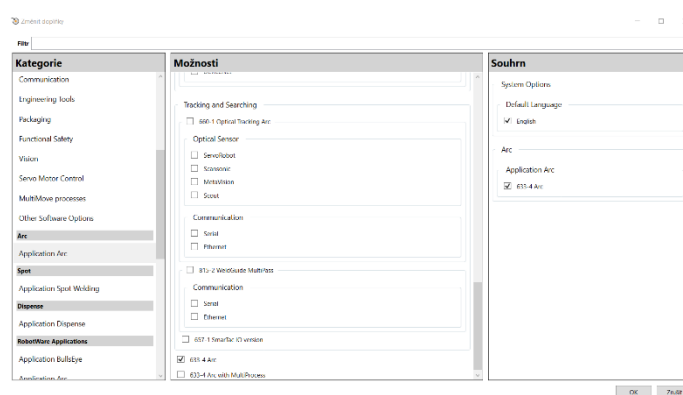
Na návrh dráh a celkové zostavenie robotizovanej zváraciej bunky bol teda zvolený najjednoduchší variant 1 s manuálnym založením a bez kontroly.

4.3 Návrh zväracích dráh

Na návrh zväracích dráh bol využitý program ABB RobotStudio. V samotnom RobotStudio je možné simulovať zväracie dráhy pre vybrané zvarence avšak firma ABB vytvorila špeciálne rozšírenie pre zváranie PowerPack ArcWelding. Toto rozšírenie umožňuje vytvárať dráhy jednoduchšie rýchlejšie a efektívnejšie [21].

4.3.1 ArcWelding PowerPack (AW)

Na využitie AW je nutné vedieť používať základné funkcie RobotStudia, kódu RAPID a základy zvárania. Samotné rozšírenie sa inštaluje priamo do RobotStudia. Na začiatku je potrebné si nakonfigurovať pracovnú bunku, kde sa zvolí robot, nástroj (zväracie hlavica), vložiť CAD model samotného zvarenca, poprípade zvyšné komponenty (polohovadlo, ochranné časti atď.). Potom sa spustí virtuálny radič, kde sa zvolí okrem iných aj doplnok pre zváranie 633-4 Arc (Obr. 4.19).



Obr. 4.19 Rozhranie virtuálneho radiča

Po spustení virtuálneho radiča sa v rozšíreniach vyberie AW, ktorý sa po spustení zobrazí v hornej lište.

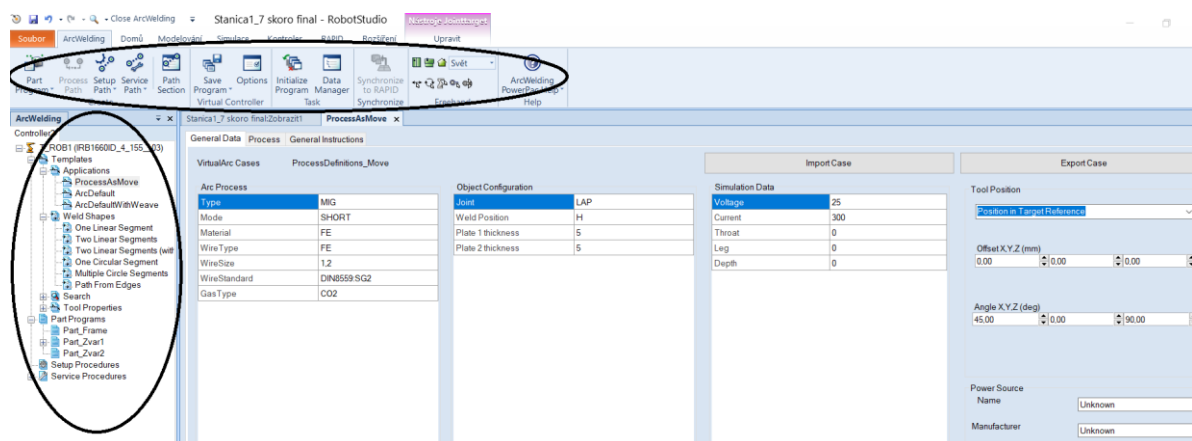
Záložky sú určené na tvorbu jednotlivých dráh: Process Path na dráhy pre zváranie, Setup Path na nastavenie pozícií robota (do a z pozície domov a pod.), Service Path napr. na dráhy do kontrolných pozícií (Obr. 4.20) [21].

Na ľavej strane obrazovky sa zobrazí strom s jednotlivými príkazmi. V záložke Templates je možné nastaviť dáta týkajúce sa konkrétneho zvaru alebo ich nahráť z externého zdroja, poprípade ich uložiť ako vzor do budúcnosti. Napríklad v Process as move sa nastavuje:

- proces zvárania: druh zvárania (MIG), materiál zvarenca a podávaného drôtu, veľkosť a norma drôtu, typ plynu (CO₂),
- nastavenia objektu: kĺby, hrúbky dosiek,
- nastavenia simulácie: napätie, veľkosť prúdu a iné [21].

Do tejto vetvy stromu patrí aj možnosť nastaviť tvary švu (priamka, oblúk, kružnica a iné).

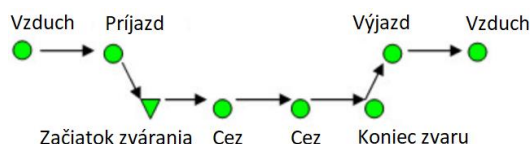
V tejto práci boli ponechané základné nastavenia, keďže jej primárnou úlohou je simulácia a nie samotné zváranie. Tieto nastavenia by sa v praxi menili spolu s technologom.



Obr. 4.20 Rozhranie záložky ArcWelding

Po nastavení základných vlastností zvárania sa nastavujú dráhy, miesta konkrétnych zvarov. Na toto je určená funkcia PartPrograms.

Obrázok 4.21 ukazuje najčastejšiu následnosť jednej zváracie dráhy. Táto dráha sa skladá z príjazdu (zo vzdušnej inštrukcie) nad miesto začiatku zvaru, kde je možné nastaviť rýchlosť a vzdialenosť príjazdu. Ďalšou časťou je začiatok zvárania, kde sa automaticky importujú príkazy nastavené v záložke Template, ďalej pokračuje bodmi zvaru, cez ktoré má prejsť robot (využíva sa pri dráhach ktoré nemajú tvar priamky). Nasleduje určenie bodu, v ktorom sa ukončí zvar a nasleduje výjazd.

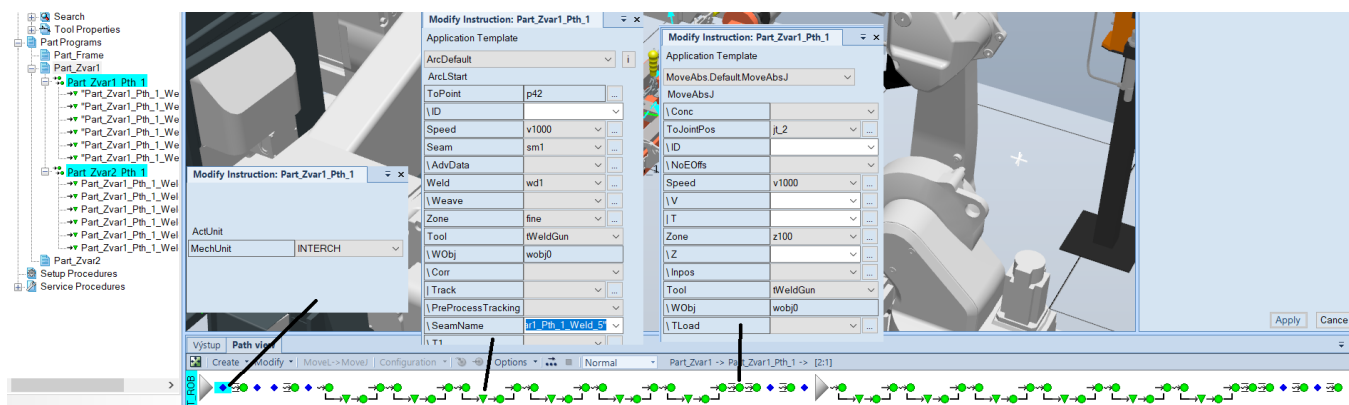


Obr. 4.21 Zváracia dráha [21]

V RobotStudiu sa nastavuje najmä začiatok a koniec zvárania, príjazd a výjazd sa vytvorí automaticky, avšak stále je možné ich zmeniť. Pri každej zmene začiatku a konca zvárania sa menia aj príjazd a výjazd robota opačne to však neplatí.

Na obrázku 4.22 je vidieť navrhnuté dráhy pre zvolený zvarenec. Program funguje na princípe vytvárania jednotlivých pokynov v spodnej lište. Pomocou príkazu Create je možné vytvárať inštrukcie. V prípade zvarenca použitého v tejto práci sú využité tri základné inštrukcie:

- Act/DeactUnit - táto inštrukcia aktivuje externé osi (pomocou nej je možné nastavovať napríklad polohovadlo) (Obr. 4.22 - modrý kosoštvorec),
- ActDefault - týmto pokynom sa spúšťa samotný zvar (tu sa môže nastaviť rýchlosť zvarovania, presnosť priblíženia, nástroj atď.) (Obr. 4.22 - zelený trojuholník),
- MoveAbsJ – umožňujúci pohyb kĺbov robota do konkrétnych súradníc (opäť sa tu dá nastaviť rýchlosť, bod, nástroj a presnosť polohy) (Obr. 4.22 - zelený kruh).



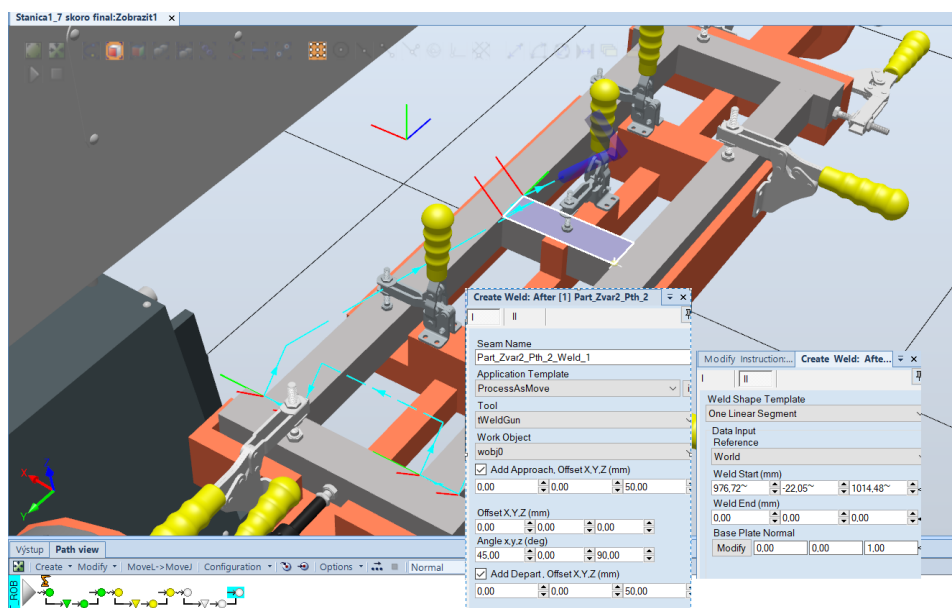
Obr. 4.22 Dráhy vytvorené pre zvolený zvarenec

4.3.2 Příklad dráhy robota

Pri návrhu dráhy zvaru sa musí najskôr vytvoriť nový Process Path, tým sa vytvorí nová prázdna dráha. Následne sa vytvorí inštrukcia, v tomto prípade sa zvolí inštrukcia pre vytvorenie zvaru Weld. Pomocou troch bodov, prvý určuje začiatok zvaru, druhý koniec a posledný normálový smer, t.j. smer z ktorého má prísť robot, sa vytvorí samotný návrh zváracej dráhy. Tieto body je možné naklikáť alebo zadať presné súradnice. Pred potvrdením je možné vybrať, či sa má automaticky vytvoriť príjazdová a odjazdová inštrukcia, zvoliť názov, nástroj, vzdialenosť, uhly pod ktorými má byť zvar vykonaný a tvar švu (priamka, oblúk a pod).

Po potvrdení sa vytvorí jednoduchá dráha, ktorá je v spodnej lište najskôr označená bielou farbou. Teraz sa musí skontrolovať dostupnosť jednotlivých bodov, či je možné sa do nich dostať s týmto robotom a jeho nástrojom. Na toto sa využíva funkcia na spodnej lište Jump to target, kde sa robot pokúsi dostať do zvoleného bodu. Ak je robot úspešný, bod sa nasvieti na žlté. Následne sa využije funkcia Move to, ktorá skontroluje pohyb medzi jednotlivými bodmi. Ak je aj toto úspešné, celá dráha sa označí na zeleno (Obr. 4.23).

Týmto štýlom sú vytvorené všetky dráhy (jednotlivé zvary) v prípade zvoleného zvarenca 6 z každej strany, dohromady 12 švov.



Obr. 4.23 Detail navrhovania konkrétnej dráhy

5 ZÁVER

Úlohou tejto bakalárskej práce bolo digitálne sprevádzkovanie robotizovaného zvaracieho pracoviska. Na tento účel bol využitý simulačný software ABB RobotStudio spolu s rozšírením ArcWelding PowerPack. V tomto programe bol navrhnutý jednoduchý model možnej reálnej bunky obsahujúci robot IRB 1660ID, ktorý je primárne určený na zváranie. Ako pracovný nástroj bol využitý model zvaracej hlavice od firmy Binzel, vhodný pre zváranie metódou MIG. Súčasťou bunky je aj polohovadlo IRBP D, ktoré umožňuje rozličné nastavenie zvarenca voči robotovi. Následne bol navrhnutý samotný zvarenec a naň tri typy upínacích prípravkov. Poslednou úlohou bolo navrhnuť dráhy jednotlivých zvarov.

V teoretickej časti bola zhodnotená potreba samotnej digitalizácie a jej výhody oproti sprevádzkovaniu v reálnom čase. Ďalej boli zhrnuté a porovnané rôzne metódy programovania priemyselných robotov a to online a offline programovanie. V offline programovaní boli zosumarizované výhody a nevýhody jednotlivých simulačných softwarov, ako napríklad ABB RobotStudio, Kuka Sim a digitálna továreň TECNOMATIX. V druhej časti bolo popísané zváranie a jeho základné rozdelenie na tlakové a tavné. V časti o tlakovom zváraní boli popísané metódy trecieho, difúzneho zvárania a zvárania za studena, a v tavnom zváraní sú uvedené metódy APT, MIG/MAG, TIG(WIG). Tavné zváranie bolo opísané podrobnejšie a to najmä z dôvodu využitia práve tejto metódy zvárania v bakalárskej práci.

Praktická časť pozostávala z troch čiastkových úloh. V prvej bola znázornená konečná konfigurácia robotickej bunky, okomentované jej jednotlivé diely a ich úloha v tejto bunke. V druhej časti bol navrhnutý samotný zvarenec (zjednodušený model rámu stola vymodelovaný v programe Autodesk Inventor 2021), vyznačené zvary a postupy ukladania jednotlivých tyčí z ktorých tento zvarenec pozostáva. Ďalej bol navrhnutý samotný upínací rám pre tento zvarenec opäť pomocou programu Autodesk Inventor. V tomto programe bola aj vypočítaná váha upínacieho rámu (55 kg) a samotného zvarenca (26 kg) a vytvorená simulácia priehybu (max 0,11 mm) a pevnostná analýza (max napätie 9,25 MPa). V ďalšej časti boli určené tri varianty upínacích prípravkov a to: na manuálne založenie bez kontroly/s kontrolou polohy a na uloženie s možnosťou využitia ďalšieho robota. Všetky tri varianty boli navrhnuté na rovnakom ráme s rozličnými upínačmi a kontrolou polohy. Po zhodnotení reálneho využitia bol vybraný variant na manuálne uloženie bez kontroly polohy a to najmä z dôvodu pomeru ceny a náročnosti upínania do rámu, ktoré je pri tomto zvarenci jednoduché. V poslednej časti boli navrhnuté zvaracie dráhy v programe ABB RobotStudio s nainštalovaným rozšírením ArcWelding PowerPack. Bolo navrhnutých 12 švov, ktoré po úspešnej simulácii ukázali, že je možné zvolený zvarenec v tejto konfigurácii roboticky zvárať.

Na záver je možné skonštatovať splnenie všetkých čiastkových úloh pre potreby bakalárskej práce. V prípade použitia v praxi by bolo potrebné samotné zváranie prekonzultovať s technologom a nastaviť napríklad posuvy drôtov, časy údržby a celkový chod bunky.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] FERNANDEZ, Igor Azkarate, Mikel Ayani EGUIA a Luka Eciolaza ECHEVERRIA. *Virtual commissioning of a robotic cell: an educational case study*. In: 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) [online]. IEEE, 2019, 2019, s. 820-825 [cit. 2021-02-01]. ISBN 978-1-7281-0303-7. Dostupné z: doi:10.1109/ETFA.2019.8869373
- [2] HOFFMANN, Peter, Reimar SCHUMANN, Talal MAKSOUD a Giuliano PREMIER. *Virtual commissioning of manufacturing systems a review and new approaches for simplification*. In: *24th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2010* [online]. [cit. 2021-02-01]. ISBN 978-0-9564944-1-2. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Andrzej_Bargiela/publication/235991499_Proceedings_of_the_24th_European_Conference_on_Modelling_and_Simulation/links/0deec516006eaa13e000000/Proceedings-of-the-24th-European-Conference-on-Modelling-and-Simulation.pdf#page=194
- [3] KUC, Artur. Virtual commissioning: Software testing not just in it. *JCommerce* [online]. 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.jcommerce.eu/jpro/articles/virtual-commissioning-software-testing>
- [4] *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Děčín: Automa - časopis pro automatizační techniku, s.r.o., 2016, 22(5) [cit. 2021-02-02]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <http://automa.cz/page-flip/casopis/automa/2016/05/index.html#page/1>
- [5] OVEN-HILL, Alex. *What's the Difference Between Offline Programming and Simulation* [online]. 19.06.2019 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://robodk.com/blog/difference-simulation-offline-programming/>
- [6] *Epson Teach Pendant - TP3* [online]. Epson America, 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://epson.com/For-Work/Robots/Integrated-Options/Epson-Teach-Pendant---TP3/p/R12NZ900N3>
- [7] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.
- [8] BRAŽINA, Jakub. *Virtuální zprovoznění výrobního systému* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116785>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.
- [9] EITEL, Lisa. *RobotStudio software from ABB optimizes robot setups (with videos)* [online]. 13.4.2017 [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: <https://www.therobotreport.com/abb-robotstudio-software-optimizes-robot-setups-with-videos/>
- [10] KUKA.Sim [online]. [cit. 2021-02-01]. Dostupné z: https://www.kuka.com/sk-sk/produkty-a-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/softv%C3%A9r/pl%C3%A1novanie-projektovanie-servis-bezpe%C4%8Dnos%C5%A5/kuka_sim
- [11] Tecnomatix: Digitální továrna Tecnomatix. *Axiom Tech: Digitalizace výrobních podniků* [online]. Zlín [cit. 2021-2-1]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25427-tecnomatix>

- [12] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [13] AMBROŽ, Oldřich; KANDUS, Bohumil; KUBÍČEK, Jaroslav, 2001. *Technologie svařování a zařízení*. Recenzent Václav Minařík. 1. vyd. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, ZEROSS, c2001. 395 s. ISBN 80-85771-81-0. s. 210
- [14] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování* [online]. Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 1994 [cit. 2021-05-12].
- [15] *Čo je MIG a MAG (CO2) zvaranie?* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.solik.sk/blog/co-je-to-mig-co2-zvaranie/>
- [16] *Product specification IRB1600/1660* [online]. 2020 [cit. 2021-02-23]. 3HAC023604-001. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC023604-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [17] *MIG/MAG system for standard robot with push-pull torch* [online]. Onara di Tombolo: Böhler Welding Selco [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.selcoweld.com/en/products/automation-robotics/impianti-selco-per-saldatura-mig-mag-mediante-robot/impianti-con-robot-standard-e-torcia-push-pull.html>
- [18] *IRBP D Positioner* [online]. 2020 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10176EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- [19] CSANYI, Edvard. Purpose and Working Principle of Inductive Sensors. *Electrical engineering portal* [online]. 28.4.2014 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://electrical-engineering-portal.com/purpose-and-working-principle-of-inductive-sensors>
- [20] *BES M08MH1-PSC15B-S04G BALLUFF* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/sk/details/bes0027/indukcne-senzory-valcove-dc/balluff/bes-m08mh1-psc15b-s04g/>
- [21] *Operating manual: ArcWelding PowerPack* [online]. 2020 [cit. 2021-5-12]. 3HAC028931-001 Dostupné z: <https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5RoboticsDocumentationRW6/Software%20Products/Arc%20Welding%20Software/en/3HAC028931-001.pdf>

7 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV A OBRÁZKOV

7.1 Zoznam skratiek

3D	Trojrozmerný
CAD	Computer aided design (Počítačom podporovaný návrh)
PLC	Programable Logic Computer (Programovateľný logický automat)
APT	Zváranie pod tavivom
TIG/WIG	Zváranie s netaviacou sa elektródou
MIG/MAG	Zváranie s taviacou sa elektródou
AW	ArcWelding PowerPack

7.2 Zoznam obrázkov

Obr. 3.1 Virtuálne sprevádzkovanie [3]	19
Obr. 3.2 Teach pendant [6]	20
Obr. 3.3 Zváranie metódou MIG [15]	25
Obr. 4.1 Rozloženie pracoviska	26
Obr. 4.2 Stupne voľnosti [16]	27
Obr. 4.3 IRB1660ID v programe ABB RobotStudio	27
Obr. 4.4 Model zváracej hlavice v ABB RobotStudio	28
Obr. 4.5 MIG systém robotizovaného zvárania [17]	28
Obr. 4.6 Model polohovadla IRBP D	29
Obr. 4.7 Výkres zvarenca	30
Obr. 4.8 Umiestnenie tyčí	30
Obr. 4.9 Upínací rám	31
Obr. 4.10 Maximálny priehyb rámu	31
Obr. 4.11 Umiestnený zvarenec v upínacom ráme	32
Obr. 4.12 Model manuálneho upínača	32
Obr. 4.13 Model pneumatického upínača	32
Obr. 4.14 Variant na manuálne uloženie bez kontroly polohy	33
Obr. 4.15 Indukčný senzor polohy [20]	33
Obr. 4.16 Model indukčného snímača	33
Obr. 4.17 Variant na manuálne upnutie s kontrolou polohy	34
Obr. 4.18 Variant na uloženie s možnosťou využitia ďalšieho robota	34
Obr. 4.19 Rozhranie virtuálneho radiča	36
Obr. 4.20 Rozhranie záložky ArcWelding	37
Obr. 4.21 Zváracia dráha [21]	37
Obr. 4.22 Dráhy vytvorené pre zvolený zvarenec	38
Obr. 4.23 Detail navrhovania konkrétnej dráhy	39

8 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1 : Video simulácie zváracích dráh v ABB RobotStudios